



PCT/FR 2005/050067

- 7 FEV. 2005

REC'D 20 APR 2005

WIPO PCT

# BREVET D'INVENTION

**CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION****COPIE OFFICIELLE**

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 31 JAN. 2005

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr





# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITE

26bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 Paris Cédex 08  
Téléphone: 01 53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livreVI

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

DATE DE REMISE DES PIÈCES: N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL: DÉPARTEMENT DE DÉPÔT: DATE DE DÉPÔT:	Jean LEHU BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS France
Vos références pour ce dossier: B14641PV - BD1525	

<b>1 NATURE DE LA DEMANDE</b>			
Demande de brevet			
<b>2 TITRE DE L'INVENTION</b>			
		LIGNE DE TRANSMISSION ET CAVITE RESONANTE DE HAUTE FREQUENCE UTILISANT DE TELLES LIGNES DE TRANSMISSION, NOTAMMENT POUR LA RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE	
<b>3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE</b>		Pays ou organisation      Date      N°	
<b>4-1 DEMANDEUR</b>			
Nom Rue Code postal et ville Pays Nationalité Forme juridique		COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31-33, rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème France France Etablissement Public de Caractère Scientifique, Technique et Ind	
<b>5A MANDATAIRE</b>			
Nom Prénom Qualité Cabinet ou Société Rue Code postal et ville N° de téléphone N° de télécopie Courrier électronique		LEHU Jean Liste spéciale: 422-5 S/002, Pouvoir général: 7068 BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS 01 53 83 94 00 01 45 63 83 33 brevets.patents@brevallex.com	
<b>6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS</b>		Fichier électronique      Pages      Détails	
Texte du brevet		textebrevet.pdf	28
Dessins		dessins.pdf	11
Désignation d'inventeurs		D 25, R 2, AB 1	
Pouvoir général		page 11, figures 22, Abrégé: page 2, Fig.2	

<b>7 MODE DE PAIEMENT</b>					
Mode de paiement		Prélèvement du compte courant			
Numéro du compte client		024			
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>					
Etablissement immédiat					
<b>9 REDEVANCES JOINTES</b>		Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
062 Dépôt		EURO	0.00	1.00	0.00
063 Rapport de recherche (R.R.)		EURO	320.00	1.00	320.00
Total à acquitter		EURO			320.00

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Signé par

Signataire: FR, Brevatome, J.Lehu

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)



## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

### Réception électronique d'une soumission

Il est certifié par la présente qu'une demande de brevet (ou de certificat d'utilité) a été reçue par le biais du dépôt électronique sécurisé de l'INPI. Après réception, un numéro d'enregistrement et une date de réception ont été attribués automatiquement.

Demande de brevet : X

Demande de CU :

<b>DATE DE RECEPTION</b>	6 février 2004
<b>TYPE DE DEPOT</b>	INPI (PARIS) - Dépôt électronique Dépôt en ligne: X Dépôt sur support CD:
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI</b>	0450218
<b>Vos références pour ce dossier</b>	B14641PV - BD1525

#### DEMANDEUR

Nom ou dénomination sociale	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
Nombre de demandeur(s)	1
Pays	FR

#### TITRE DE L'INVENTION

LIGNE DE TRANSMISSION ET CAVITE RESONANTE DE HAUTE FREQUENCE UTILISANT DE TELLES LIGNES DE TRANSMISSION, NOTAMMENT POUR LA RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

#### DOCUMENTS ENVOYES

package-data.xml	Requetefr.PDF	application-body.xml
Design.PDF	ValidLog.PDF	fee-sheet.xml
FR-office-specific-info.xml	Comment.PDF	textebrevet.pdf
dessins.pdf	indication-bio-deposit.xml	request.xml

#### EFFECTUE PAR

Effectué par:	J.Lehu
Date et heure de réception électronique:	6 février 2004 14:31:58
Empreinte officielle du dépôt	C7:B2:85:9B:3B:79:44:BC:CB:BC:D5:2D:08:2C:EA:21:A8:85:A6:16

/ INPI PARIS, Section Dépôt /

SIEGE SOCIAL  
INSTITUT 28 bis, rue de Saint-Petersbourg  
NATIONAL DE 75000 PARIS cedex 08  
LA PROPRIÉTÉ Téléphone : 01 53 04 53 04  
INDUSTRIELLE Télécopie : 01 42 93 59 30

LIGNE DE TRANSMISSION ET CAVITÉ RÉSONANTE DE HAUTE  
FRÉQUENCE UTILISANT DE TELLES LIGNES DE TRANSMISSION,  
NOTAMMENT POUR LA RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLEAIRE

5

## DESCRIPTION

## DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne une ligne de transmission et une cavité résonante de haute fréquence (en anglais « high-frequency cavity resonator »), plus  
10 particulièrement, une antenne de type cavité résonante de haute fréquence, utilisant de telles lignes de transmission, ces lignes de transmission étant de préférence accordables.

L'invention s'applique notamment aux  
15 dispositifs de RMN, c'est-à-dire de Résonance Magnétique Nucléaire (en anglais « Nuclear Magnetic Resonance ») et, plus particulièrement, à ceux qui sont destinés aux examens biologiques et médicaux.

Cette cavité résonante de haute fréquence  
20 est utilisée pour engendrer un champ appelé « champ B1 », qui est un champ électromagnétique de haute fréquence, ou champ radiofréquence (RF), ayant une composante magnétique, afin d'exciter les noyaux des atomes étudiés, c'est-à-dire tous ceux qui sont  
25 détectables par RMN, qui se trouvent dans l'objet examiné, placé dans la cavité, puis pour capter le champ radiofréquence très faible qui résulte du phénomène de RMN.

Cette cavité a été étudiée pour exciter et capter plus particulièrement le signal du proton de l'atome d'hydrogène.

5 Cette cavité résonante de haute fréquence est utilisable dans le domaine de la RMN, c'est-à-dire de la Résonance Magnétique Nucléaire (en anglais « Nuclear Magnetic Resonance »), plus particulièrement pour examiner la tête d'un sujet par IRM (Imagerie par Résonance Magnétique, en anglais "Magnetic Resonance  
10 Imaging"), mais aussi dans le domaine de la SRM, c'est-à-dire de la Spectroscopie par Résonance Magnétique (en anglais « Magnetic Resonance Spectroscopy »).

#### ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

15 Une cavité résonante de haute fréquence blindée (en anglais « shielded »), du type cage à oiseau (en anglais « bird cage »), comprend :

- un ensemble de lignes de transmission,
- un blindage (en anglais « shield ») qui  
20 entoure cet ensemble de lignes de transmission, et
- une ou plusieurs boucles (en anglais « loops ») qui sont intercalées entre l'ensemble de lignes de transmission et le blindage et sont destinées à l'excitation radiofréquence de la cavité résonante et  
25 à la détection des signaux de RMN.

À ce sujet, on se reportera aux documents suivants :

- 30 [1] US 4746866 (Röschmann)  
[2] US 4751464 (Bridges)  
[3] US 5557247 (Vaughn, Jr.).

[4] Proc. Int. Soc. Mag. Res. Med. 11, 2003, N° 2354 (Vaughn).

Ces documents concernent essentiellement des améliorations apportées aux lignes de transmission d'une cavité résonante, prises individuellement ou dans leur ensemble.

Des moyens pour accorder (en anglais « tune ») chaque ligne de transmission à la fréquence de travail souhaitée sont généralement formés, dans les dispositifs décrits dans les documents cités, par des moyens mécaniques de réglage du couplage électromagnétique entre les lignes de transmission et le blindage.

Ainsi, le document [1] divulgue une bobine (en anglais « coil ») qui est destinée à un appareil d'IRM et formée de lignes de transmission qui s'apparentent aux câbles coaxiaux : chacune de ces lignes comprend un cylindre externe, creux et conducteur, contenant un cylindre interne creux, qui est fait d'un matériau diélectrique et à l'intérieur duquel sont placés deux conducteurs centraux, au moins l'un de ces derniers étant mobile axialement.

Un blindage externe est couplé aux conducteurs centraux par l'intermédiaire des extrémités du cylindre externe, grâce à des contacts glissants.

Le déplacement mécanique du conducteur central mobile a pour effet de modifier la capacité (en anglais « capacitance ») de la ligne de transmission, ce qui permet un ajustement de la fréquence de résonance.



Le document [2] décrit une cavité résonante dont les lignes de transmission sont formées de segments de bandes conductrices, entre lesquels sont intercalées des sections d'un matériau diélectrique. Un  
5 blindage externe est couplé aux lignes de transmission par l'intermédiaire de capacités qui sont situées aux extrémités de chaque ligne de transmission. L'accord de la cavité résonante est effectué au moyen de fentes réglables, formées dans le blindage externe.

10 Le document [3] utilise des lignes de transmission, du genre de celles qui sont divulguées par le document [1], pour former une cavité résonante de type cage à oiseau. En outre, ce document décrit un système mécanique permettant d'accorder simultanément  
15 plusieurs lignes de transmission.

Les cavités résonantes connues par les documents cités présentent l'inconvénient de ne pas fonctionner convenablement lorsqu'on les utilise à des valeurs élevées de champ magnétique, de l'ordre de 9 T  
20 ou plus, et/ou à des fréquences élevées, de l'ordre de 400 MHz ou plus, en vue d'augmenter le rapport signal/bruit.

Par exemple, des expériences et une simulation numérique du résonateur décrit dans le  
25 document [4] par la méthode des éléments finis (en anglais « finite element method ») montrent qu'un tel résonateur est limité à des fréquence de résonance du proton (fréquences de Larmor) qui sont inférieures à environ 400 MHz, ou à des champs magnétiques inférieurs  
30 à 4 teslas, pour des volumes cylindriques de 27 cm de

diamètre et 25 cm de long, de tels volumes étant aptes à contenir la tête d'un sujet.

En effet, pour augmenter la fréquence, les conducteurs centraux des lignes de transmission doivent être complètement retirés, ce qui provoque des pertes par rayonnement ainsi qu'une mauvaise homogénéité du champ B1 produit.

### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour objet une cavité résonante de haute fréquence, qui ne présente pas les inconvénients des cavités résonantes connues, mentionnées plus haut.

Une cavité conforme à l'invention, est une amélioration de ces dernières, grâce à des lignes de transmission de structure originale et à la combinaison de ces lignes de transmission avec le blindage que comporte la cavité.

Des techniques de simulation numérique, qui sont particulièrement bien adaptées à ce type d'invention, permettent d'optimiser les paramètres de cette cavité.

On propose en outre un système d'accord dont peuvent être pourvues les lignes de transmission.

Un aspect essentiel de l'invention réside dans la structure des lignes de transmission, cette structure différant de celle que l'on trouve dans le document [1]. En effet, dans l'invention, une ligne de transmission n'est pas une structure coaxiale de matériaux conducteurs alternant avec des matériaux diélectriques : il s'agit d'un barreau rectiligne et

segmenté qui est (ou est rendu) électriquement conducteur et pourvu de minces éléments diélectriques, intercalés entre les segments du barreau.

Certes, des principes analogues sont  
5 utilisés dans le domaine des accélérateurs de  
particules à ondes progressives (en anglais  
« travelling wave particle accelerators ») mais les  
structures qui font l'objet de l'invention sont tout à  
fait originales dans le domaine de la RMN, qui est très  
10 éloigné du précédent.

À l'aide d'une simulation numérique, on  
ajuste l'épaisseur des éléments diélectriques, le  
matériau constitutif de ces derniers et le nombre de  
ces éléments par ligne de transmission, ainsi que le  
15 nombre de telles lignes dans la cavité résonante, en  
vue d'adapter au mieux les paramètres de cette dernière  
(notamment le facteur de qualité, la fréquence de  
travail et l'homogénéité du champ) et d'obtenir un  
ensemble de lignes dont les dimensions sont compatibles  
20 avec le volume de la cavité.

En outre, la fréquence de travail de cette  
dernière peut être finement ajustée par modification de  
l'épaisseur des éléments diélectriques, par exemple par  
déformation de ces derniers.

25 De plus, au lieu d'être un simple cylindre  
fermé en une extrémité et pourvu d'une ouverture en  
l'autre extrémité, pour permettre l'introduction d'un  
objet - en particulier la tête d'un sujet - dans la  
cavité, le blindage peut comporter une section  
30 cylindrique réentrant au niveau de l'ouverture.

Une telle section permet avantageusement de réduire les pertes d'énergie électromagnétique par rayonnement au niveau de l'ouverture et limite les perturbations de la cavité par l'objet, en particulier  
5 la tête.

On peut concevoir une cavité résonante conforme à l'invention, capable de fonctionner sous un champ magnétique de 11,7 T, à 500 MHz, avec une homogénéité volumique meilleure que 5% sur un volume  
10 cylindrique de 190 mm de diamètre, équivalent à une tête.

En outre, des lignes de transmission ayant la structure originale mentionnée plus haut sont utilisables dans d'autres domaines que l'IRM, par  
15 exemple la SRM.

De façon précise, la présente invention a pour objet une ligne de transmission, caractérisée en ce qu'elle comprend un barreau rectiligne qui est divisé en segments, ces segments étant électriquement  
20 conducteurs ou rendus électriquement conducteurs, le barreau étant pourvu d'éléments diélectriques qui sont intercalés entre les segments.

De préférence, les segments sont faits d'un matériau diélectrique dont la surface est rendue  
25 électriquement conductrice.

Selon un mode de réalisation préféré de la ligne de transmission objet de l'invention, cette ligne est pourvue de moyens d'accord en fréquence, ces moyens d'accord étant aptes à modifier l'épaisseur des  
30 éléments diélectriques.

De préférence, les éléments diélectriques sont élastiquement déformables.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les segments et les éléments diélectriques  
5 comportent des perçages, la ligne de transmission comprenant en outre des pièces de liaison diélectriques et rectilignes qui traversent les perçages et sur lesquelles les segments et les éléments diélectriques sont aptes à coulisser.

10 La présente invention concerne aussi une cavité résonante de haute fréquence comprenant un ensemble de lignes de transmission et un blindage qui entoure ces lignes de transmission, ces lignes de transmission étant conformes à la ligne de transmission  
15 objet de l'invention.

De préférence, les lignes de transmission (ou barreaux) sont sensiblement parallèles et régulièrement réparties sur une surface cylindrique.

Selon un mode de réalisation particulier,  
20 la cavité résonante de haute fréquence comprend deux extrémités qui sont respectivement ouverte et fermée.

Dans ce cas, le blindage peut comporter une partie rééentrante du côté de l'extrémité ouverte de la cavité.

25 La présente invention concerne aussi un appareil de résonance magnétique nucléaire comportant une cavité résonante de haute fréquence conforme à l'invention.

## BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en coupe transversale schématique de la géométrie d'un guide d'onde à conducteurs multiples, conforme à l'invention, et illustre également des modes de propagation d'ondes électromagnétiques dans ce guide,

- les figures 2A et 2B illustrent schématiquement, en coupe longitudinale (figure 2A) et en coupe transversale (figure 2B), un exemple d'une antenne, ou cavité résonante, conforme à l'invention pour la simulation numérique,

- les figures 3A et 3B illustrent schématiquement, en coupe transversale (figure 3A) et en coupe longitudinale (figure 3B), le champ magnétique transverse B1 à 500 MHz dans l'exemple d'antenne des figures 2A et 2B,

- les figures 4A, 4B et 4C illustrent schématiquement, en coupe transversale (figure 4A) et en coupe longitudinale suivant deux plans orthogonaux (figures 4B et 4C), des courbes de niveau de l'amplitude du champ B1 en polarisation linéaire,

- la figure 5 représente les variations de l'amplitude normalisée A du champ B1 suivant deux axes orthogonaux x (courbe I) et y (courbe II), au centre de l'exemple d'antenne conforme à l'invention, en partant de l'axe z de l'antenne, qui est orthogonal aux axes x

et y, les axes x, y et z ayant un point d'intersection O,

- les figures 6A, 6B et 6C illustrent schématiquement, en coupe transversale (figure 6A) et en coupe longitudinale suivant deux plans orthogonaux (figures 6B et 6C), des courbes de niveau de l'amplitude du champ B1 en polarisation circulaire,

- les figures 7A et 7B sont respectivement une vue en perspective schématique et une vue en coupe longitudinale schématique d'un exemple de l'antenne objet de l'invention, seuls 4 des 32 barreaux que comporte cette antenne étant représentés,

- les figures 8A et 8B sont des vues en perspective schématique d'éléments de l'antenne des figures 7A et 7B, pourvus d'un revêtement métallique,

- les figures 9A et 9B sont des vues en perspective schématique d'éléments diélectriques de cette antenne,

- les figures 10A et 10B sont des vues en perspective schématique d'une pastille déformable (figure 10A) et d'une pièce de liaison (figure 10B) utilisées dans cette antenne, et

- les figures 11A et 11B sont des vues en perspective schématique de tronçons qui sont pourvus d'un revêtement métallique et forment les barreaux de cette antenne.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

La réalisation d'une cavité résonante de haute fréquence, appelée également bobine RF volumique, conçue pour examiner la tête d'un sujet par RMN,

devient critique lorsque la longueur d'onde effective du champ RF devient proche de la taille de l'échantillon (tête). La fréquence de travail de la cavité doit être ajustée à la fréquence de Larmor qui  
5 est proportionnelle à l'intensité du champ magnétique longitudinal et statique (généralement noté  $B_0$ ) de l'appareillage d'IRM.

Dans un mode de réalisation particulier, l'invention est destinée à un système d'IRM  
10 fonctionnant à 11,7 T. Par conséquent, la fréquence de Larmor est de 500 MHz pour le noyau (en anglais « nucleus ») étudié par IRM, en l'occurrence le proton de l'atome d'hydrogène.

Dans cette gamme de fréquences, les pertes  
15 électromagnétiques par rayonnement et dans l'échantillon augmentent et dégradent de ce fait le facteur de qualité de la cavité ainsi que l'homogénéité du champ transverse  $B_1$ . La conception d'une bobine RF conforme à l'invention doit répondre à un double défi,  
20 à savoir conserver un facteur de qualité et une homogénéité de champ transverse  $B_1$  qui soient acceptables.

La présente invention propose une nouvelle conception de la cavité résonante, permettant à cette  
25 dernière de fonctionner à 500 MHz et au-delà (ces valeurs étant données à titre d'exemple, d'autres valeurs étant possibles).

Cette conception doit satisfaire à une contrainte dimensionnelle forte, imposée par la  
30 réalisation de la bobine qui engendre le champ  $B_0$  dans le système d'IRM et par celle des bobines de gradient



(en anglais « gradient coils »), autres composants essentiels du système d'IRM.

Dans un exemple, le diamètre (respectivement la longueur) de la bobine RF volumique est limité à environ 350 mm (respectivement 300 mm).

Le principe de base de la conception de la cavité résonante conforme à l'invention consiste à réaliser un résonateur de type  $\lambda/2$  ou  $\lambda/4$  à partir d'une ligne de transmission. La contrainte portant sur la dimension transverse et la fréquence de fonctionnement écarte définitivement la possibilité d'utiliser une ligne à un seul conducteur, quelle que soit la géométrie de sa section, en raison de la fréquence de coupure (en anglais « cut-off frequency »). Ainsi, le choix d'une ligne à conducteurs multiples s'impose.

Compte tenu de la géométrie des autres composants du système (bobines de gradient et bobine créant le champ  $B_0$ ) et de la géométrie de l'échantillon (tête), le choix s'oriente vers une ligne comportant une enveloppe conductrice cylindrique E (voir la figure 1), dont l'axe a la référence z sur la figure 1, cette enveloppe (blindage) entourant plusieurs autres conducteurs C (ou barreaux conducteurs rectilignes) qui sont parallèles à l'axe z et uniformément répartis sur un cylindre (du point de vue géométrique) dont l'axe est aussi l'axe z. Sur la figure 1, les références x et y représentent des axes qui sont orthogonaux l'un à l'autre et à l'axe z.

L'analyse des modes de propagation de type TEM, en fonction du nombre de conducteurs C et de la

dimension et du positionnement de ces derniers par rapport à l'enveloppe E, a fait l'objet d'une recherche propre à la présente invention, dans le but de créer, par superposition de plusieurs modes (car tous les modes TEM possèdent la même constante de propagation),  
5 une distribution de champ B1 la plus uniforme possible dans une direction transverse.

Aucune approche analytique connue ne permet de définir ces paramètres (nombre de conducteurs et dimension et positionnement de ces derniers par rapport à l'enveloppe).

Seule une étude par simulation numérique, spécifique à la présente invention, permet d'obtenir les paramètres d'une cavité résonante conforme à l'invention, en particulier l'ensemble des paramètres adéquats de la section d'une ligne de transmission :

- diamètre de l'enveloppe externe E :  
344 mm,
- diamètre des conducteurs internes C :  
20 14 mm, et
- position de ces conducteurs C par rapport à l'axe z de la cavité : 147 mm.

On peut faire varier chacun de ces paramètres dans un intervalle dont l'amplitude est de l'ordre de 0,5 mm et qui est centré sur la valeur lui correspondant ci-dessus, sans modifier de manière significative la distribution du champ des modes de propagation.

Le principe de la simulation pour l'obtention des paramètres adéquats consiste à étudier systématiquement la distribution du champ magnétique de

tous les modes où ce dernier est parallèle à l'axe y (figure 1). Pour cela, un algorithme de recherche de modes propres est appliqué sur la section du guide en 2 dimensions, avec une condition limite électrique le long de l'axe y et une condition limite magnétique le long de l'axe x. Cette modélisation est équivalente à une excitation du guide (cavité) par une boucle de couplage magnétique, placée par exemple à l'abscisse +x entre l'enveloppe E et un des conducteurs C, et dont la surface est perpendiculaire à l'axe y. Huit modes de propagation sont ainsi obtenus. Ils sont notés M1, M2, ..., M8 et schématiquement illustrés par la figure 1.

Lorsque les dimensions des éléments du guide ne sont pas déterminées correctement, la superposition constructive et destructive des modes produit une distribution de champ magnétique très inhomogène.

Sur la figure 1, les modes M1, M7 et M8 sont excités préférentiellement par la boucle. Le mode utile étant le mode M8, la géométrie a été déterminée de telle sorte que la superposition des modes M1 et M7 ne détériore pas son homogénéité mais tende au contraire à l'améliorer.

La longueur d'onde des modes TEM, qui est de 60 cm à 500 MHz, n'exclut pas le principe d'un résonateur en  $\lambda/2$ , compatible avec la contrainte sur la longueur de la cavité. Cependant, les conditions aux limites devaient être identiques aux deux extrémités de la cavité, l'une de ces extrémités étant nécessairement ouverte dans le cas d'une bobine destinée à examiner la

tête. Mais deux ouvertures induiraient trop de pertes par rayonnement à 500 MHz et dégraderaient drastiquement le facteur de qualité de la cavité.

La conception s'oriente donc vers un  
5 résonateur en  $\lambda/4$ . Or, compte tenu de la longueur d'onde, ce résonateur ne mesurerait que 150 mm de long et l'homogénéité longitudinale du champ à l'emplacement de l'échantillon (la tête dans l'exemple considéré) deviendrait inacceptable.

10 Conformément à la présente invention, on propose une cavité similaire à un résonateur en  $\lambda/4$ , capable de résonner à 500 MHz et au-delà, tout en assurant une homogénéité acceptable dans la direction longitudinale (z) et dans une direction transverse.

15 Les auteurs des dispositifs décrits dans les divers documents cités plus haut utilisent des structures coaxiales ajustables en guise de conducteurs multiples. Chacune de ces structures constitue une capacité répartie variable grâce à la mobilité du  
20 conducteur interne de la ligne coaxiale que constitue cette structure. En augmentant cette capacité, il a été possible d'obtenir une cavité à très basse fréquence de résonance, à savoir 170 MHz ou moins.

Par le retrait des conducteurs internes, la  
25 fréquence d'une cavité du genre de celle qui est décrite dans le document [3] peut être augmentée, le cas limite étant celui dans lequel tout le conducteur est retiré. On retrouve alors une section analogue à celle que l'on voit sur la figure 1.

30 Compte tenu des observations faites au sujet des résonateurs  $\lambda/2$  et  $\lambda/4$ , on comprend ainsi la

raison pour laquelle les cavités du genre de celle qui est décrite dans le document [3] ne sont pas faites pour des applications à l'IRM pour l'homme au-delà de 400 MHz.

5                   Un aspect innovant d'une cavité résonante conforme à la présente invention réside dans l'introduction de discontinuités diélectriques sur les conducteurs internes cylindriques faisant office de capacités discrètes, afin d'obtenir un résonateur de  
10 type  $\lambda/4$ , de préférence sur une longueur de 300 mm.

                  On met ainsi en œuvre une technique utilisée dans un domaine qui est très éloigné non seulement de la conception des antennes mais encore des applications de la RMN, à savoir le domaine des  
15 accélérateurs de particules.

                  En effet, dans les structures accélératrices à ondes progressives (en anglais « travelling waves »), des obstacles tels que des disques percés, disposés régulièrement dans un guide  
20 d'onde circulaire, permettent de diminuer la vitesse de phase (en anglais « phase velocity ») et de créer des bandes passantes (en anglais "pass-band") et des bandes de coupure (en anglais "stop-band"). La longueur d'onde de propagation dans les bandes passantes est d'autant  
25 plus grande que l'on s'approche d'une bande de coupure.

                  Cependant, l'efficacité d'une telle approche dans le cas des bobines RF volumiques n'était pas évidente. Malgré les obstacles, le mode de propagation dans les structures accélératrices reste un  
30 mode de type TM.

Dans le cas d'un guide à conducteurs multiples, où des modes dégénérés se propagent, l'introduction d'obstacles pourrait fortement perturber ces modes.

5           Seule l'utilisation d'un code numérique approprié permet de valider cette approche. Ce code doit être en mesure de mailler une structure complexe en 3 dimensions et comportant un grand nombre de constituants disjoints. Il permet de calculer la  
10 fréquence de résonance de l'antenne ainsi que la distribution du champ électromagnétique en 3 dimensions. Un code basé sur la méthode des intégrations finies convient à une telle étude.

Les figures 2A et 2B illustrent  
15 schématiquement un modèle d'une antenne conforme à l'invention pour la simulation numérique en vue de l'optimisation de cette dernière. On voit encore les trois axes orthogonaux  $x$ ,  $y$  et  $z$ , où  $z$  est l'axe longitudinal de l'antenne. Ces trois axes se coupent en  
20 un point  $O$  qui est au centre de l'antenne. On conservera ces notations dans la suite de la description.

Sur la figure 2A, la référence  $T$  désigne la zone d'intérêt pour l'examen par RMN, cette zone étant  
25 matérialisée par une sphère (vue en coupe).

L'antenne, ou cavité résonante, conforme à l'invention comprend une enveloppe électriquement conductrice  $e$  (blindage) dont une extrémité est ouverte et dont l'autre extrémité est fermée. L'antenne  
30 comprend aussi, dans l'enveloppe, des conducteurs électriques internes  $c$  (ou barreaux rectilignes

conducteurs) qui sont parallèles à l'axe  $z$  de l'enveloppe.

Comme on le voit sur les figures 2A et 2B, chaque conducteur interne consiste en une juxtaposition axiale de tronçons, ou segments, conducteurs 1, qui sont électriquement isolés par des pastilles diélectriques 2 constituant chacune un intervalle (en anglais « gap ») pour les conducteurs.

Un autre avantage important de l'invention est lié à la possibilité de moduler la position des intervalles, que comporte un conducteur, le long de ce conducteur, pour étendre l'homogénéité du champ  $B_1$  dans la direction longitudinale ( $z$ ). L'optimisation de la distance et de la position des intervalles a fait l'objet d'une modélisation en trois dimensions et de nombreuses simulations numériques.

Un exemple de réalisation comporte 8 intervalles par conducteur, comme on le voit sur la figure 2A. L'écartement des intervalles peut varier de 0,5 mm à 2 mm pour un diélectrique fait de polyéthylène. Par usinage des pastilles diélectriques dans une forme qui permet leur déformation élastique, la cavité résonante peut être accordée en fréquence par une action mécanique simultanée sur l'ensemble de tronçons conducteurs, en compressant ces pastilles.

La forme mentionnée ci-dessus est par exemple un disque bombé ou une calotte sphérique.

Enfin, une couronne métallique 3 de 50 mm de haut a été aménagée du côté de l'ouverture que comporte l'antenne en l'une de ses extrémités, afin de

limiter le rayonnement et d'améliorer le facteur de qualité de l'antenne.

Les figures 3A et 3B montrent que la structure du mode M8 de la figure 1 a été conservée  
5 après l'introduction des pastilles diélectriques 2.

L'homogénéité du champ B1 ne pouvant être assurée que dans une seule direction transverse (voir les figures 4A à 4B et 5), on fait fonctionner la cavité résonante conforme à l'invention avec une  
10 polarisation circulaire (voir les figures 6A, 6B et 6C), grâce à 4 dispositifs d'excitation (non représentés) qui sont placés à 90 degrés les uns par rapport aux autres en +x, -x, +y et -y, et forment deux paires que l'on alimente en quadrature à l'aide de deux  
15 diviseurs de puissance et de deux circuits hybrides (non représentés).

Dans ce qui suit, on donne des détails sur la structure et le fonctionnement d'un exemple de l'antenne, ou cavité résonante, objet de l'invention,  
20 en faisant référence aux figures 7A, 7B, 8A, 8B, 9A, 9B, 10A, 10B, 11A et 11B. Cette antenne se compose d'éléments électriquement conducteurs et d'éléments faits d'un matériau diélectrique.

Afin de minimiser les effets des courants  
25 qui sont induits par les bobines de gradient de l'appareil d'IRM dans lequel l'antenne est destinée à être montée, les éléments conducteurs sont constitués d'éléments faits d'un matériau diélectrique rigide, par exemple le polyéthylène de haute densité, et  
30 recouverts, par CVD, c'est-à-dire par dépôt chimique en phase vapeur (en anglais « chemical vapor



deposition »), d'une couche métallique ayant une épaisseur à peine supérieure à l'épaisseur de peau (en anglais « skin depth ») de l'onde RF, en tenant compte de la conductivité électrique.

5                   Rappelons que : les figures 7A et 7B sont respectivement une vue externe et une vue en coupe d'un exemple de l'antenne objet de l'invention, seuls 4 des 32 barreaux que comporte l'antenne de cet exemple étant représentés ; les figures 8A et 8B montrent les  
10                   éléments conducteurs de l'antenne de l'exemple (éléments avec revêtement métallique) ; les figures 9A et 9B montrent les éléments diélectriques de cette antenne ; les figures 10A et 10B montrent respectivement une pastille déformable et une pièce de  
15                   liaison des segments ; et les figures 11A et 11B montrent des tronçons avec revêtement métallique formant les barreaux de cette antenne.

                  Les éléments conducteurs de l'antenne sont : le corps 5 de cette antenne, les tronçons 1 qui  
20                   forment les barreaux de l'antenne, une couronne réentrante 3, un disque coulissant 6 qui ferme une extrémité de l'antenne, les conducteurs internes 10 des lignes coaxiales de couplage, et des plongeurs cylindriques 8 qui referment les boucles de couplage  
25                   magnétique formées des éléments référencés 8, 9 et 10 - voir les figures 7A, 7B, 8A et 8B.

                  Les éléments en matériau diélectrique (non métallisés) peuvent être de deux types, le premier étant d'une grande rigidité pour le disque rotatif 7  
30                   qui permet l'accord en fréquence de l'antenne et pour

les pièces de liaison 4, le second étant d'une grande élasticité pour les pastilles bombées 2.

La couronne réentrant 3, qui ne supporte pas d'effort mécanique, peut être collée sur le corps 5 de l'antenne.

Les tronçons 1 aux extrémités de chaque barreau sont vissés, d'un côté, sur le corps 5 dans des trous taraudés 5b prévus à cet effet et, de l'autre côté, sur le disque coulissant 6, au niveau de trous taraudés 6a de ce disque.

Les autres tronçons 1 sont reliés entre eux par une pièce de liaison 4 en prenant en sandwich une pastille bombée 2 pour former une capacité variable. L'empreinte de la pièce de liaison dans les tronçons doit être soit traversante, soit plus longue que cette pièce de liaison. Le jeu qui en résulte permet de comprimer la pastille - voir les figures 10A, 10B, 11A et 11B.

On voit que chaque pastille 2 (respectivement chaque tronçon 1) comporte un perçage 12 (respectivement 14) apte à être traversé par la pièce de liaison.

Vus en coupe, cette pièce et les perçages ont la même forme (trois branches à  $120^\circ$  les unes des autres dans l'exemple), la pièce ayant une taille légèrement inférieure à celle des perçages pour pouvoir coulisser dans ces perçages.

Dans la mesure où les pastilles diélectriques 2 ont été introduites pour que l'antenne puisse résonner à 500 MHz sur une longueur donnée, il est aisé d'imaginer une méthode qui consiste à modifier

simultanément la capacité de tous les intervalles (en anglais « gaps ») pour accorder l'antenne.

Cette modification est obtenue en faisant varier soit l'écartement de l'intervalle, soit la constante diélectrique de la pastille, soit les deux. Dans le premier cas, la sensibilité donnée par la simulation est de 144 MHz/mm pour des pastilles en Téflon (marque déposée) (dont la permittivité relative vaut 2,1) d'épaisseur égale.

Une sensibilité de 82 MHz, par unité de permittivité relative, a été obtenue pour un intervalle de 1 mm d'écartement, dans le second cas.

Une réalisation de la combinaison de ces deux principes a été adoptée (voir les figures 7A et 7B).

Chaque pastille 2 en matériau diélectrique, d'épaisseur uniforme, possède une forme bombée pouvant ainsi subir une compression. Elle est percée en son centre d'un motif (voir les figures 10A et 10B) correspondant à la section d'une pièce de liaison 4 à 3 bras, également en matériau diélectrique mais plus rigide.

De chaque côté de la pastille 2, les deux tronçons de barreau 1 doivent présenter une empreinte négative de la pièce de liaison soit traversante, soit de plus grande longueur (jeu). Ainsi, ces pièces forment un intervalle capacitif qui est rendu variable par une compression de la pastille par les tronçons sans torsion.

Comme la fréquence de résonance des modes, et notamment le mode dipolaire, diminue avec

l'augmentation de la capacité des intervalles, une compression de la pastille 2 combine deux effets qui s'ajoutent ; la réduction de l'écartement et l'augmentation de la constante diélectrique effective de l'intervalle participent en effet tous deux à l'augmentation de la capacité, et donc à un abaissement de la fréquence de résonance.

La compression est produite par le déplacement du disque coulissant 6 sur lequel s'appuie le disque rotatif 7 dont le bord comporte un filetage 7b qui s'adapte sur le filetage 5d du corps de l'antenne.

Deux poignées 7a ont été montées sur le disque rotatif pour en faciliter le maniement. Le déplacement du disque coulissant 6 est guidé par des saillies 6b qui sont aménagées sur son bord et s'emboîtent dans les rainures 5c (voir les figures 8A et 8B) prévues sur le corps 5 de l'antenne dans l'alignement des renforts 5a.

Ces renforts sont nécessaires du fait que l'épaisseur de la paroi latérale du corps 5 est limitée à 5 mm par la construction de bobines de gradient. Néanmoins, celle-ci autorise l'aménagement, par endroits, de renforts du fait que les bobines sont constituées d'éléments cylindriques disposés sur un cercle, ce qui laisse des interstices où les renforts 5a peuvent se loger.

L'alimentation en quadrature de l'antenne est réalisée au moyen de 4 entrées coaxiales dont le conducteur externe 5e est solidaire du corps de l'antenne 5. Le conducteur interne est connecté à un

tronçon 1 d'un barreau (voir la figure 7) et isolé du conducteur externe par un manchon électriquement isolant 9.

5 L'impédance caractéristique de la ligne a été choisie égale à 50 ohms.

Afin de garder un rapport de maille raisonnable et une précision de calcul satisfaisante pour le couplage, les dimensions de la ligne ont été augmentées plus qu'il n'est nécessaire pour véhiculer la puissance RF moyenne et la puissance RF crête.

10 Les diamètres intérieur et extérieur de la ligne sont respectivement de 4,2 mm et 14 mm.

Un plongeur (c'est-à-dire un élément conducteur ou rendu conducteur, qui pénètre dans l'antenne, au niveau de l'espace entre l'enveloppe E. et les conducteurs C) cylindrique 8, de 7 mm de diamètre, dont l'axe se situe à une distance variable  $LC$  de l'axe du conducteur interne 10, referme la boucle de couplage magnétique à travers un intervalle capacitif de 1,4 mm d'écartement.

20 Cette méthode de couplage couvre une plage de facteur de qualité extérieur de 500 à 50 en faisant varier  $LC$  de 20 mm à 55 mm. Elle présente en outre l'avantage de ne pas modifier la fréquence de résonance sur cette plage. L'écartement de l'intervalle capacitif entre le plongeur et le barreau ne produit qu'une très faible variation du coefficient de couplage pour des valeurs entre 1 mm et 2 mm.

30 Enfin, les deux entrées diamétralement opposées forment une paire alimentée en phase par une source RF (non représentée) et les deux autres entrées,

situées à 90 degrés des premières, forment une seconde paire qui est alimentée en quadrature (déphasage de 90 degrés) par rapport à la première paire.

5 L'invention décrite ci-dessus ne se limite pas aux modes de réalisation décrits, ni aux valeurs numériques des exemples précédents. L'invention concerne également tout type de dispositif similaire, de dimensions différentes, avec des valeurs numériques adaptées.

## REVENDICATIONS

1. Ligne de transmission, caractérisée en ce qu'elle comprend un barreau rectiligne qui est divisé en segments (1), ces segments étant électriquement conducteurs ou rendus électriquement conducteurs, le barreau étant pourvu d'éléments diélectriques (2) qui sont intercalés entre les segments.
2. Ligne de transmission selon la revendication 1, dans laquelle les segments (1) sont faits d'un matériau diélectrique dont la surface est rendue électriquement conductrice.
3. Ligne de transmission selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, cette ligne étant pourvue de moyens d'accord (4, 6, 7) en fréquence, ces moyens d'accord étant aptes à modifier l'épaisseur des éléments diélectriques (2).
4. Ligne de transmission selon la revendication 3, dans laquelle les éléments diélectriques (2) sont élastiquement déformables.
5. Ligne de transmission selon l'une quelconque des revendications 3 et 4, dans laquelle les segments (1) et les éléments diélectriques (2) comportent des perçages (12, 14), la ligne de transmission comprenant en outre des pièces de liaison (4) diélectriques et rectilignes qui traversent les

perçages et sur lesquelles les segments et les éléments diélectriques sont aptes à coulisser.

5                   6. Cavité résonante de haute fréquence comprenant un ensemble de lignes de transmission (c) et un blindage (e) qui entoure ces lignes de transmission, ces lignes de transmission étant conformes à l'une quelconque des revendications 1 à 5.

10                   7. Cavité résonante de haute fréquence selon la revendication 6, dans laquelle les lignes de transmission sont sensiblement parallèles et régulièrement réparties sur une surface cylindrique.

15                   8. Cavité résonante de haute fréquence selon l'une quelconque des revendications 6 et 7, comprenant deux extrémités qui sont respectivement ouverte et fermée.

20                   9. Cavité résonante de haute fréquence selon la revendication 8, dans laquelle le blindage comporte une partie réentrant (3) du côté de l'extrémité ouverte de la cavité.

25                   10. Appareil de résonance magnétique nucléaire comportant une cavité résonante de haute fréquence selon l'une quelconque des revendications 6 à 9.



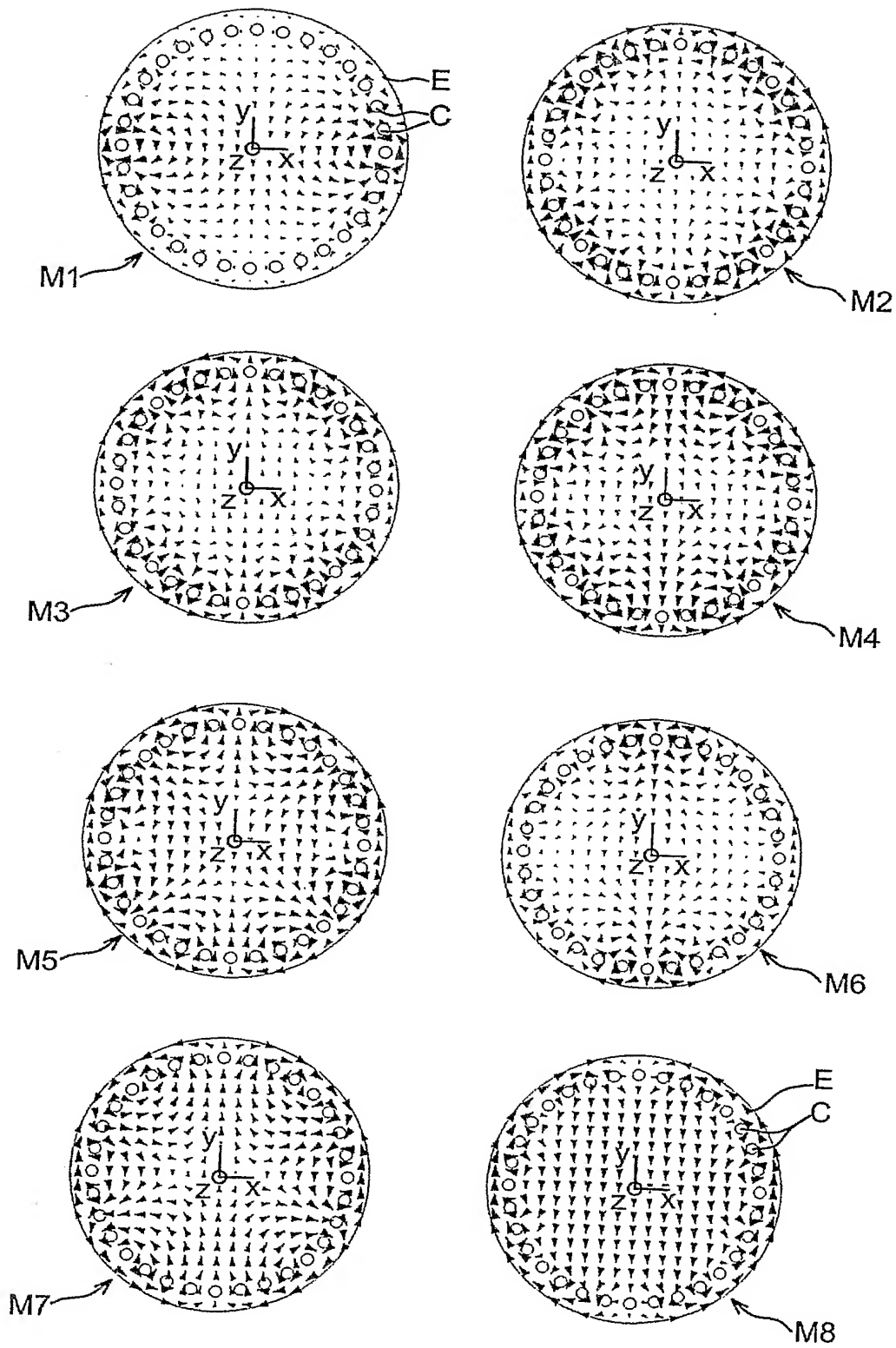


FIG. 1

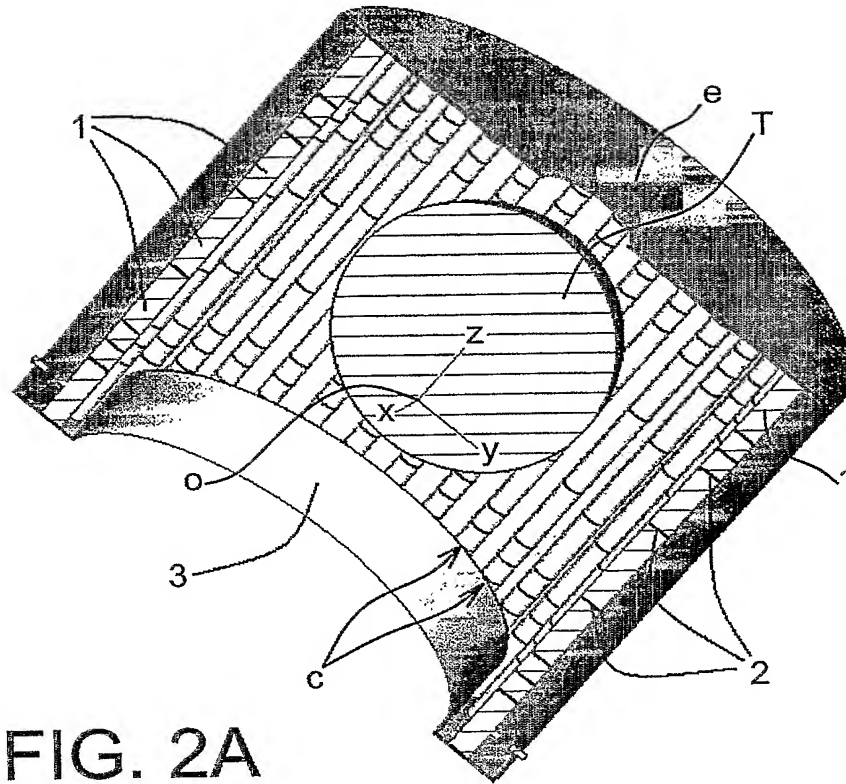


FIG. 2A

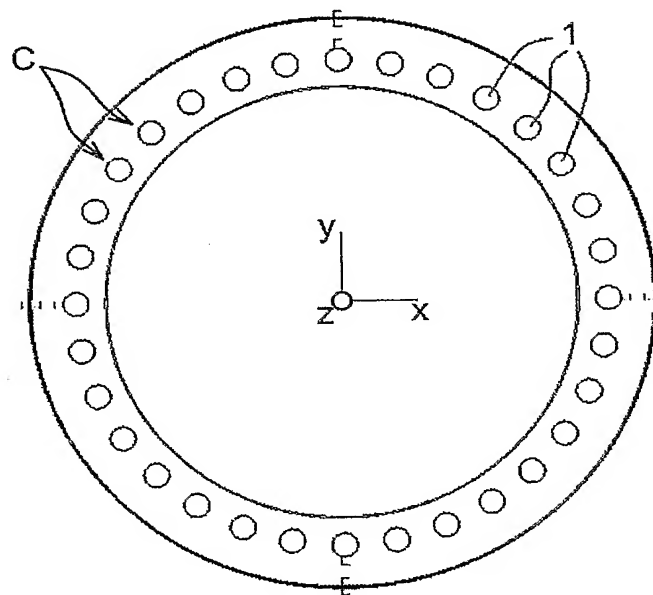


FIG. 2B

3 / 11

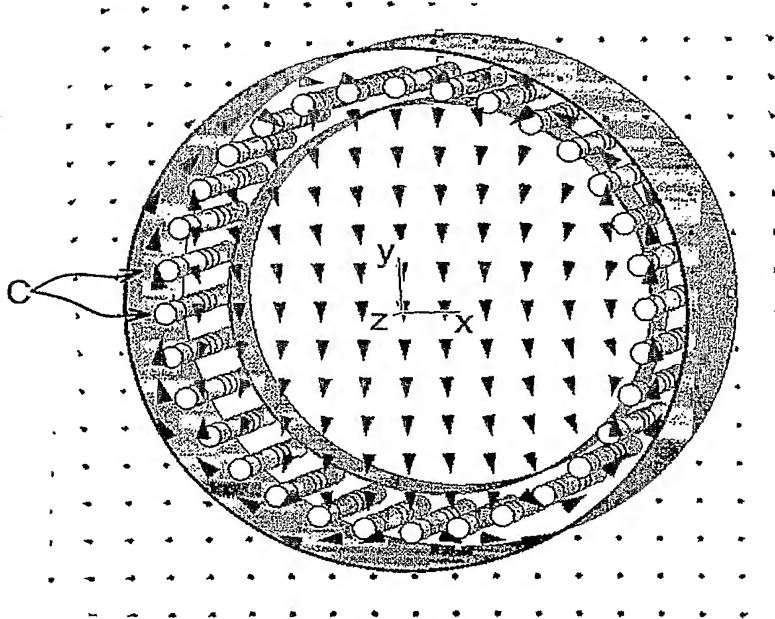


FIG. 3A

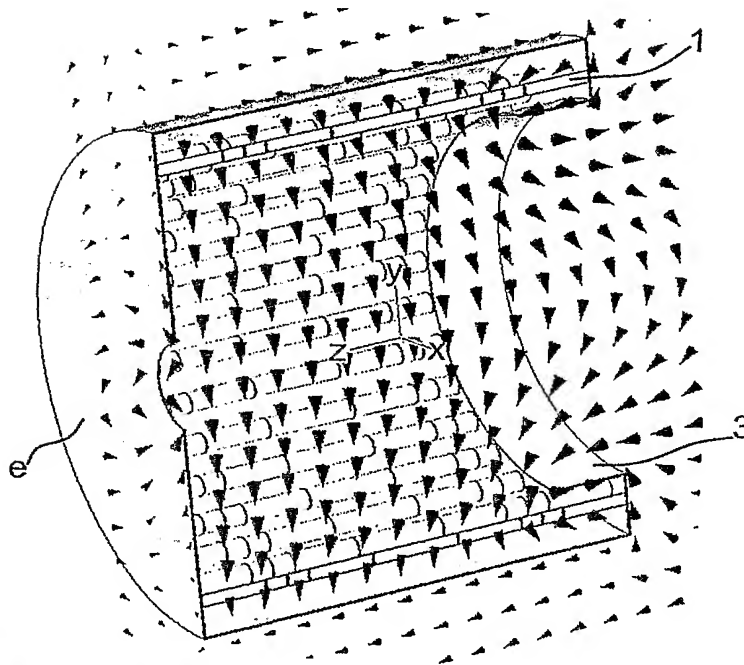


FIG. 3B

4 / 11

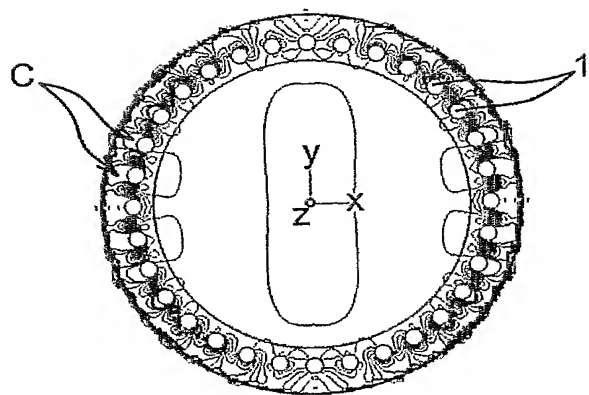


FIG. 4A

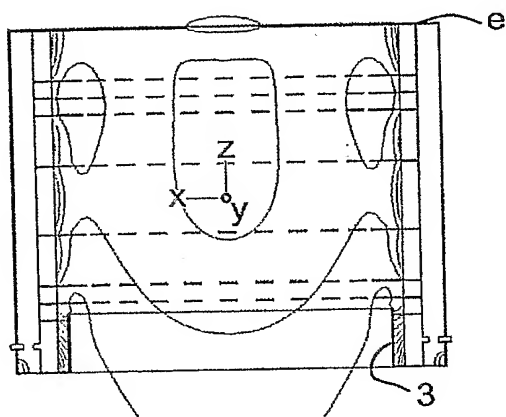


FIG. 4B

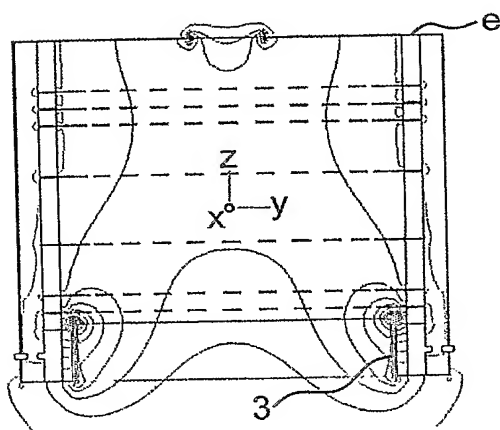


FIG. 4C

5 / 11

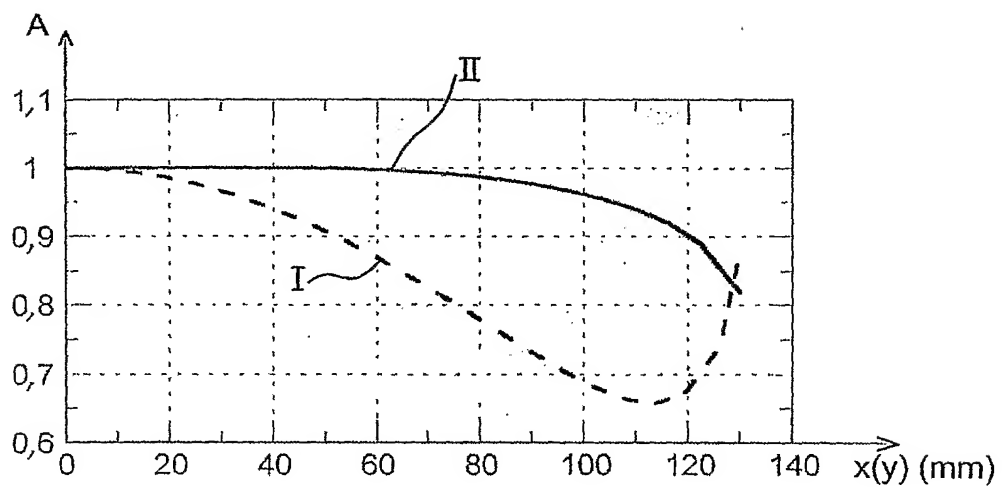


FIG. 5

6 / 11

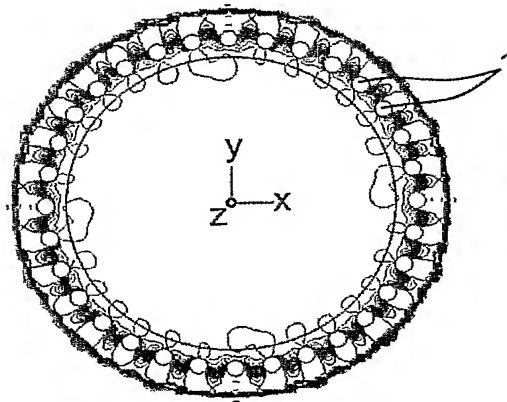


FIG. 6A

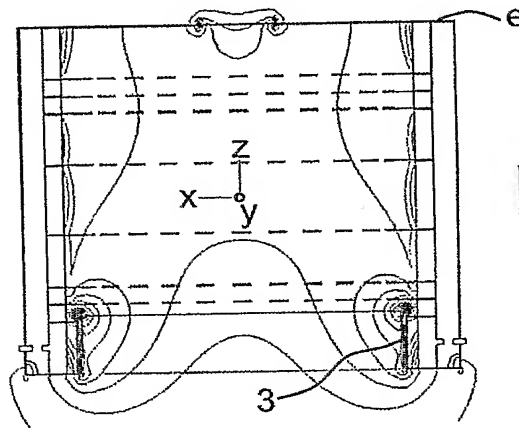


FIG. 6B

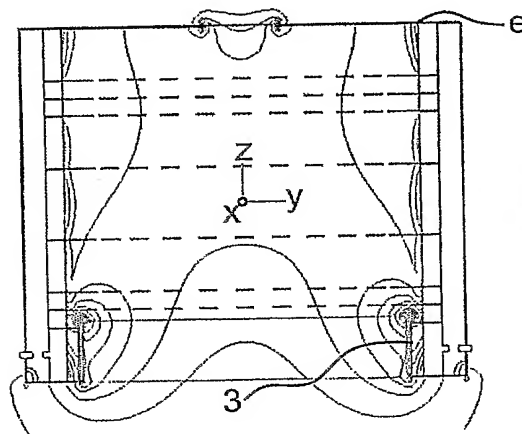


FIG. 6C

7 / 11

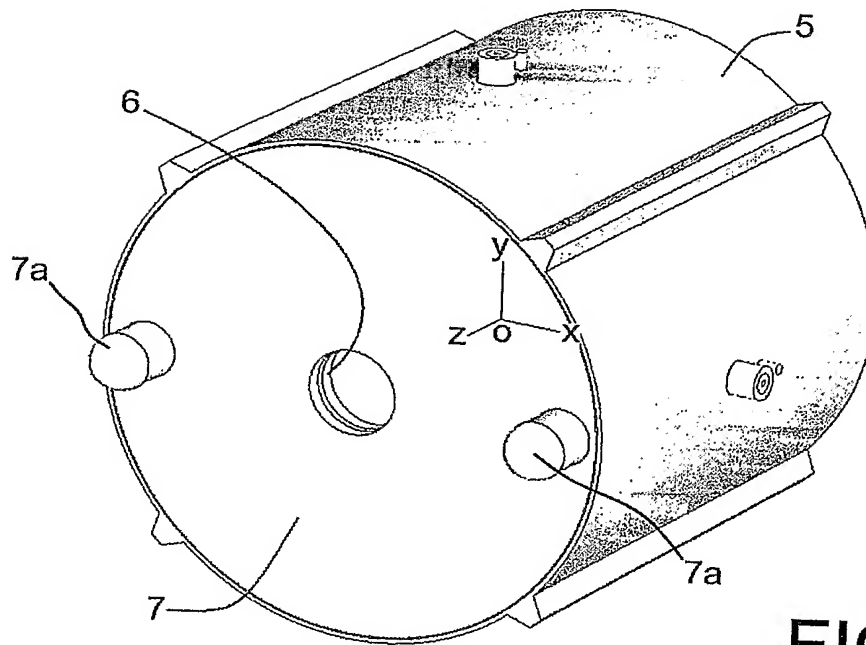


FIG. 7A

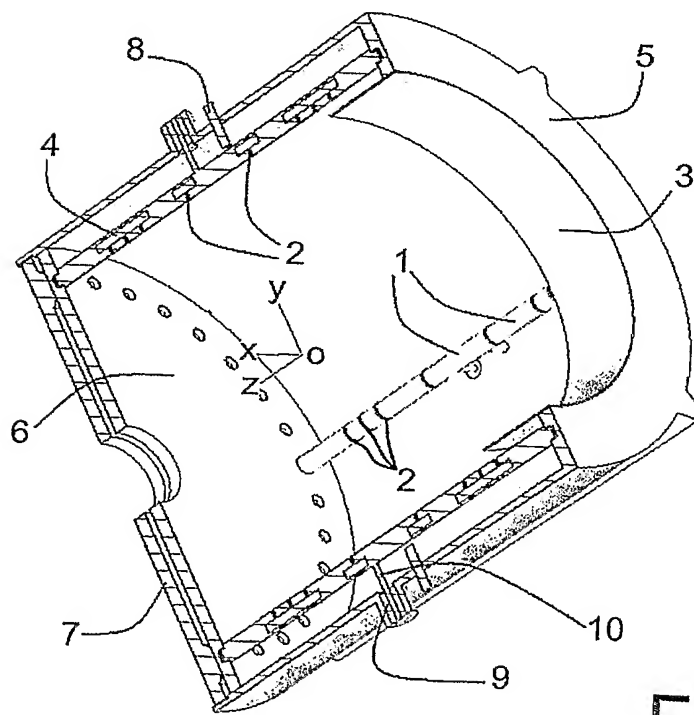


FIG. 7B

8 / 11

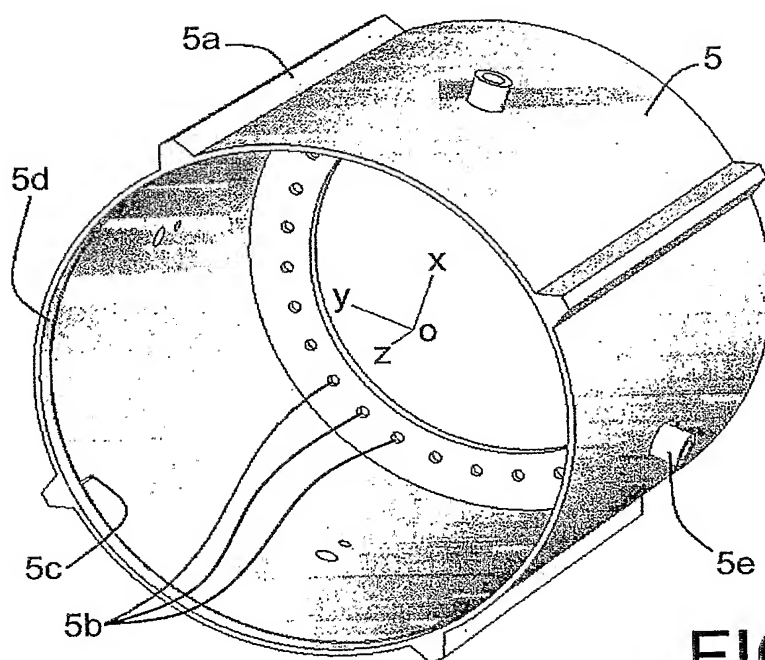


FIG. 8A

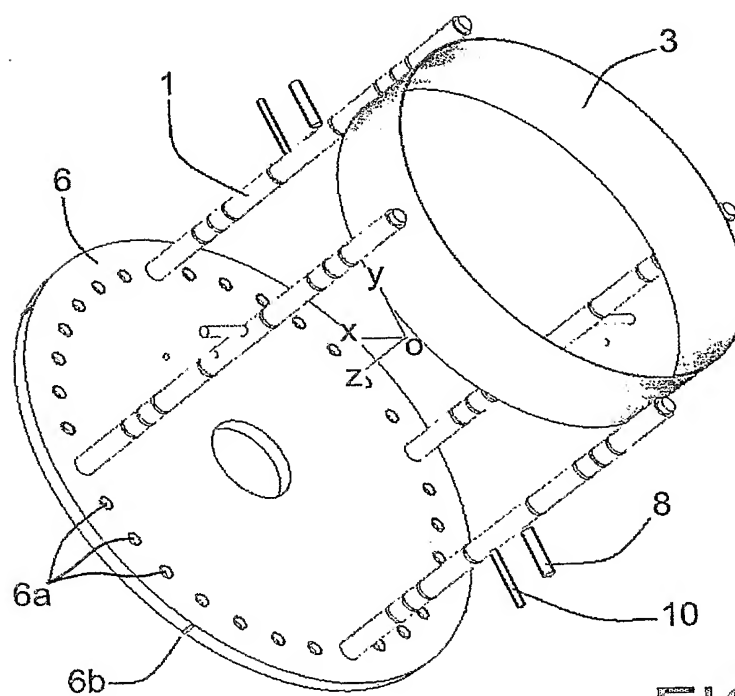


FIG. 8B



9 / 11

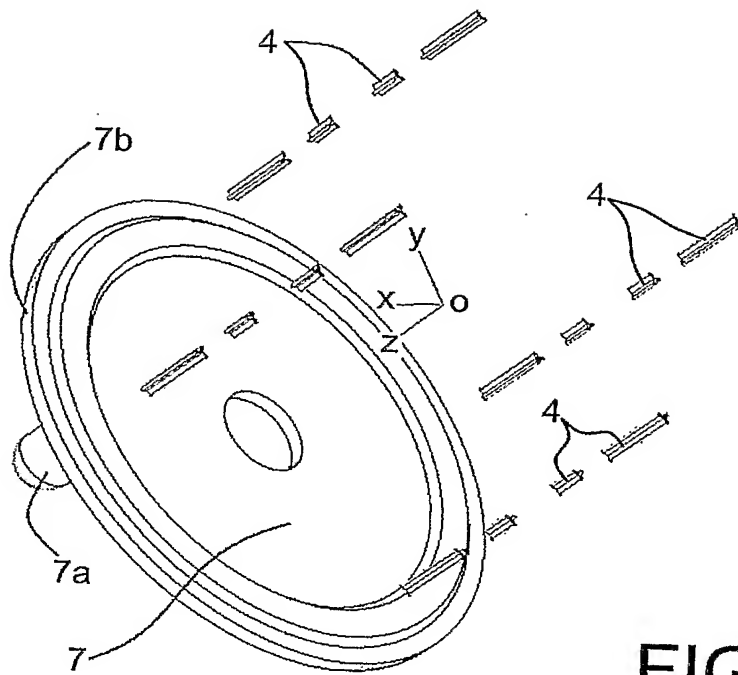


FIG. 9A

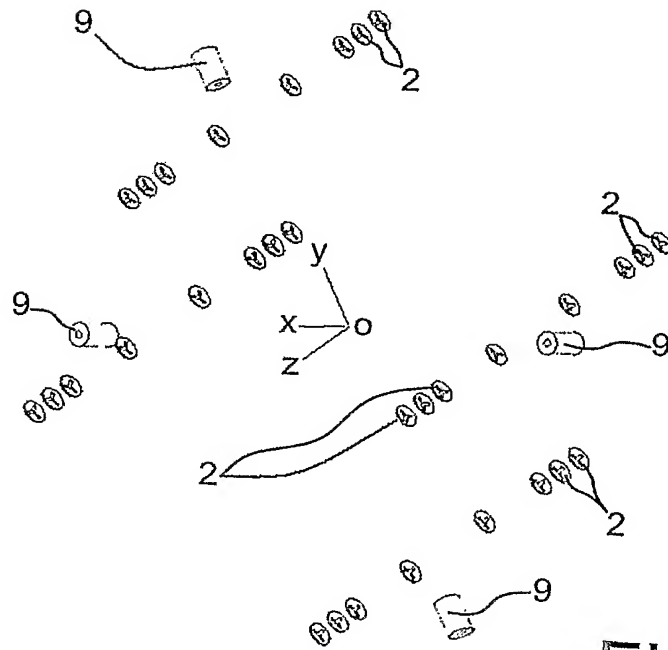


FIG. 9B

10/11

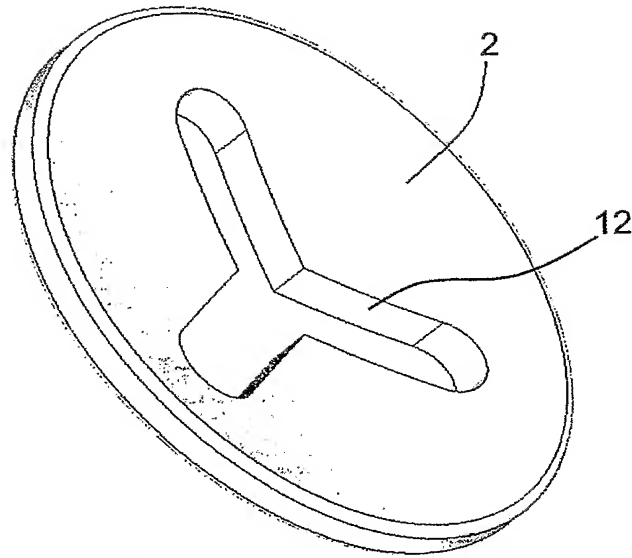


FIG. 10A

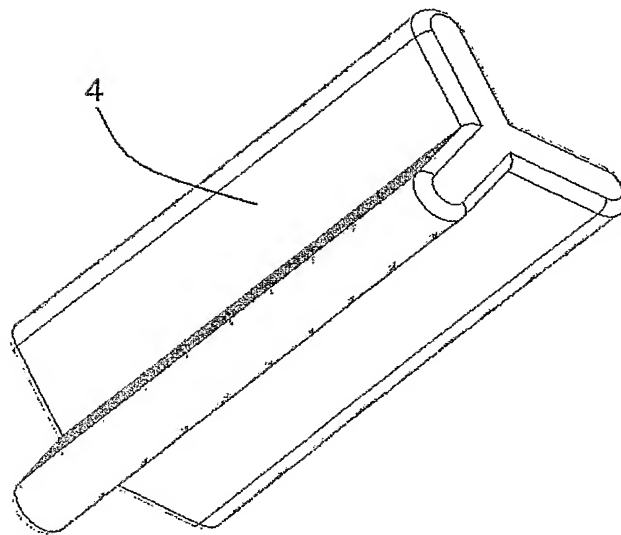


FIG. 10B

11/11

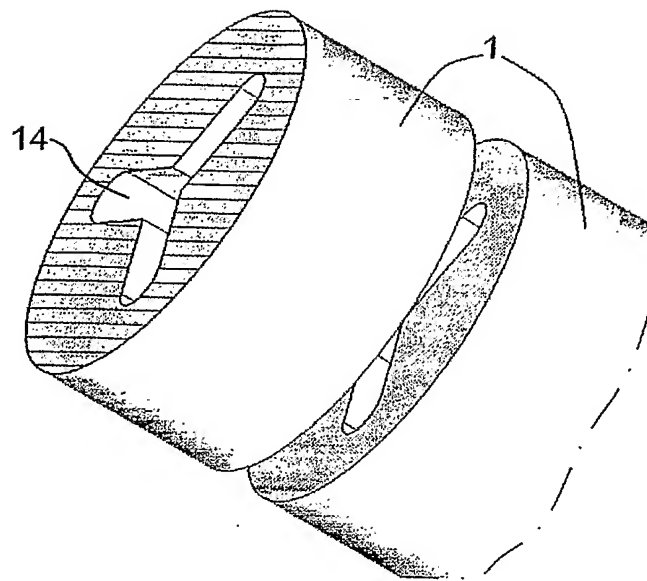


FIG. 11A

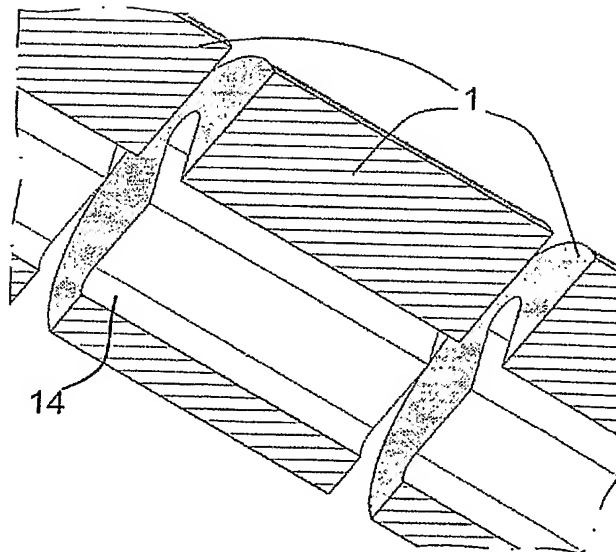
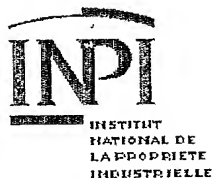


FIG. 11B



## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

### Désignation de l'inventeur

Vos références pour ce dossier	B14641PV - BD1525
N°D'ENREGISTREMENT NATIONAL	
TITRE DE L'INVENTION	
	LIGNE DE TRANSMISSION ET CAVITE RESONANTE DE HAUTE FREQUENCE UTILISANT DE TELLES LIGNES DE TRANSMISSION, NOTAMMENT POUR LA RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE
LE(S) DEMANDEUR(S) OU LE(S) MANDATAIRE(S):	
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S):	
Inventeur 1	
Nom	LUONG
Prénoms	Michel
Rue	18, avenue d'Eastleigh
Code postal et ville	94190 VILLENEUVE SAINT GEORGES - FRANCE
Société d'appartenance	
Inventeur 2	
Nom	HANUS
Prénoms	Xavier
Rue	130, rue de Vaugirard
Code postal et ville	75006 PARIS - FRANCE
Société d'appartenance	
Inventeur 3	
Nom	DESMONS
Prénoms	Michel
Rue	17, rue des Pyrénées
Code postal et ville	78180 MONTIGNY-LE-BRETONNEUX - FRANCE
Société d'appartenance	
Inventeur 4	
Nom	LETHIMONIER
Prénoms	Franck
Rue	9, résidence du Val
Code postal et ville	91120 PALAISEAU - FRANCE
Société d'appartenance	
Inventeur 5	
Nom	GIACOMINI
Prénoms	Eric
Rue	02, clos de la Rabette
Code postal et ville	78730 ROCHEFORT-EN-YVELINES - FRANCE
Société d'appartenance	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Signé par

Signataire: FR, Brevatome, J.Lehu

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)

[illegible]

PCT/FR2005/050067

